

Gravel Packing i proppanty ceramiczne



baltic
ceramics

Marcin Zimny



INDYGOTECH
MINERALS

Dariusz Janus

Wstęp

Każdy odwiert po zakończeniu prac wiertniczych, a przed rozpoczęciem eksploatacji musi zostać wykończony oraz uzbrojony. Proces wykończeniowy odwiertu z języka angielskiego nosi nazwę „well completion”. Mogą się na niego składać różne techniki takie jak szczelinowanie hydrauliczne, perforacja czy kwasowanie. Głównym celem tych zabiegów jest utworzenie wydajnego połączenia między otworem wiertniczym a docelową formacją węglowodorową, co ma zapewnić ścieżki przepływu gazu.

Wspomniany w tytule proces zwany „Gravel Packing” (obsypki filtra) jest jedną z metod kontroli piasku („Sand Control”) czyli przeciwdziałania przedostawaniu się ziaren piasku z formacji węglowodoronośnej do odwiertu i instalacji naziemnej. Polega on na stworzeniu obsypki filtra przeciw działającej temu procesowi. Do wytwarzania obsypki filtrów pierwotnie stosowano piasek lub żwir (Gravel) o odpowiedniej granulacji, następnie wprowadzono proppanty obtoczone żywicami, natomiast obecnie zaczynają być stosowane produkty ceramiczne analogiczne do proppantów stosowanych w zabiegach hydraulicznego szczelinowania. Ziarna piasku uwalniane z warstwy produktywnej podczas eksploatacji węglowodorów, mogą powodować znaczne zniszczenia infrastruktury naziemnej i podziemnej. Powodują one głównie erozję elementów konstrukcyjnych, orurowania, powstawanie pustek w warstwie produktywnej, oraz problemy z ich oddzieleniem od medium oraz utylizacją, co zwiększa koszty funkcjonowania kopalni węglowodorów. Metody przeciwdziałania migracji piasku często powodują redukcję produktywności odwiertu, co ma wpływ na jego ekonomiczną opłacalność. Poprawne przeprowadzenie którejkolwiek z metod przeciwdziałania temu zjawisku jest wyzwaniem polegającym na znalezieniu najlepszej równowagi pomiędzy ograniczeniem migracji i utrzymaniem jak najwyższej produkcji z odwiertu. Nie ma czegoś takiego jak typowe przeprowadzenie operacji Gravel Packing, gdyż każda taka operacja jest bardzo złożonym procesem.

Aby osiągnąć jak największą pewność powodzenia poszukuje się jak najlepszych metod przeprowadzenia tej operacji, oraz spełniających wysokie wymagania urządzeń i proppantów w nim użytych. Jest to główny powód coraz większego zainteresowania firm zastosowaniem do tego procesu proppantów ceramicznych spełniających najwyższe wymagania stawiane przez inżynierów.

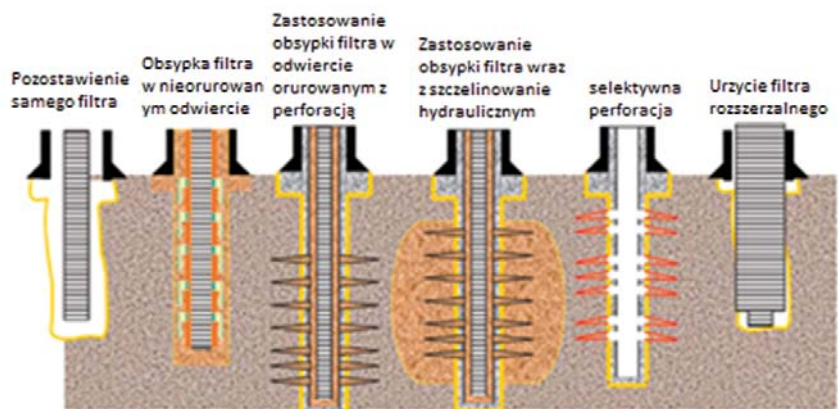
Na czym polega kontrola piasku (Sand Control)?

Kontrola piasku (Sand Control) jest to pojęcie zawierające w sobie szereg metod mających kontrolować i ochraniać filtr i odwiert, przed migracją ziaren piasku z skał warstwy zbiornikowej. Skałami złożowymi, które są szczególnie podatne na to zjawisko, są nieskonsolidowane lub słabo skonsolidowane piaskowce o przepuszczalności od 0,5 do 8 Darcy. Zjawisko to może wystąpić zarówno podczas pierwszego uruchomienia odwiertu, jak również w późniejszych etapach eksploatacji odwiertu eksploatacyjnego. Podczas eksploatacji odwiertu może również następować zmiana w intensywności emisji piasku z formacji. Wpływ na to może mieć wiele czynników m. in. spadek ciśnienia złożowego. Uwalnianie ziaren piasku może następować również w skałach lepiej skonsolidowanych na skutek zmian w intensywności produkcji, wraz z początkiem produkcji wody w odwiercie, z powodu zmiany w stosunku gaz/ciecz czy zmiany ciśnienia złożowego albo subsydencji skał. Skały

podatne na to zjawisko występują między innymi na Morzu Północnym u wybrzeży Wielkiej Brytanii i Norwegii, u wybrzeży Afryki czy w zatoce Meksykańskiej. Zjawisko to jest szczególnie uciążliwe dla pracy platform wiertniczych, gdyż koszty oddzielenia piasku od ropy czy gazu, naprawy albo rekonstrukcji odwiertu na morzu są nieporównywalnie wyższe i trudniejsze do realizacji niż podobne na lądzie. Dlatego odwierty wykonywane z platform wiertniczych są szczególnie zabezpieczone przed tym zjawiskiem. Wśród metod wchodzących w skład kontroli piasku (Sand Control), wyróżnić można dwie główne grupy metod. Pierwszą grupą metod są metody oparte na minimalizacji wszelkich zmian parametrów eksploatacji odwiertu. Główną rolę odgrywa tu ograniczenie zmian ciśnienia zachodzące na przykład podczas zmian poziomu produkcji. W razie konieczności jej zmiany, proces ten przeprowadza się powoli, unikając znacznych skoków tego parametru.

Inna metoda z tej grupy polega na obniżeniu poziomu produkcji do takiego, w którym ciśnienie i przepływ oddziaływujące na ziarna nie są na tyle duże by nastąpiła ich migracja. Kolejną metodą jest bardzo dokładne dopasowanie perforacji orurowania tak aby ominąć strefy najmniej skonsolidowane, co wymaga bardzo dokładnych analiz rdzeni wiertniczych. Metody te mają znaczny wpływ na poziom produkcji z odwiertu i mogą wpływać na jego ekonomiczną opłacalność, dlatego są rzadziej stosowane.

Drugą grupą metod i zarazem najbardziej rozpowszechnioną są metody oparte na fizycznym powstrzymaniu migracji piasku. Wyróżnić można wśród nich następujące grupy metod: iniekcje żywic, stosowanie różnych rodzajów filtrów bądź kombinacji obsypki z filtrami oraz stosowanie różnego rodzaju obsypki filtra połączonych z szczelinowaniem hydraulicznym w literaturze angielskiej zwanych Gravel Packing. W niniejszym artykule skupimy się na dwóch ostatnich metodach czyli ogólnie mówiąc obsypkach filtrowych (Gravel Packing).



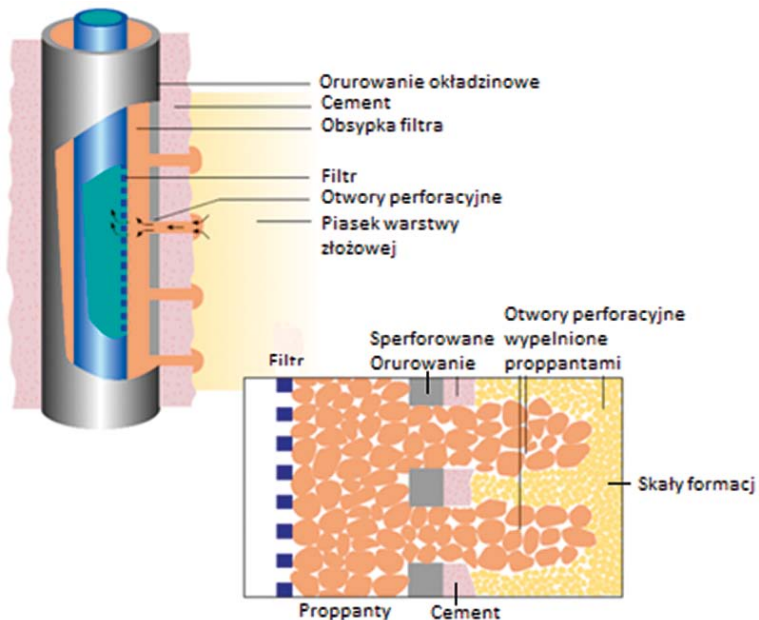
Rys. 1. Metody Sand Control. Źródło: Tayvis Dunnahee 2008

Czym jest i jak działa Gravel Packing (obsypka filtra)?

Spośród wszystkich stosowanych metod jest ona najbardziej rozpowszechniona, szacuje się że nawet dwie trzecie wszystkich wykonywanych zabiegów zapobiegania migracji piasku („Sand Control”) jest wykonywanych tą metodą. Jest ona wykorzystywana przez przemysł naftowy na całym świecie już od 1930 r. Wyróżnić można kilka typów tej metody polegających na stosowaniu obsypki filtra w: niezarurowanych (brak kolumny okładzinowej) odwiertach (Open Hole Gravel Pack), w kolumnie rur okładzinowych z perforacją (Case Hole Gravel Pack/High Rate Water Pack) oraz stosowaniu jej wraz z szczelinowaniem hydraulicznym (Case Hole Frac Pack). W dużym skrócie wszystkie z tych metod polegają, na zatłoczeniu odpowiednio dobranych pod względem granulacji, kulistości i wytrzymałości proppantów do pierścieniowatej przestrzeni pomiędzy centralnie umieszczonym filtrem a wcześniej perforowanymi rurami okładzinowymi lub w wypadku nie zastosowania orurowania („open hole”) wcześniej oczyszczonymi ścianami odwiertu. Powyższą sytuację przedstawia rysunek 2.

Różnice w poszczególnych typach obsypki filtrowej (Gravel Packing) są następujące: obsypka filtra (Open Hole Gravel Pack) nie posiada warstwy rur okładzinowych oraz warstwy cementu, obsypka filtra (Case Hole Gravel Pack/High Rate Water Pack) posiada orurowanie okładzinowe oraz warstwy cementu, który został poddany perforacji na skutek czego powstały otwory łączące skałę z odwiertem, obsypka filtra (Case Hole Frac Pack) podobnie jak poprzedni tym posiada rury okładzinowe oraz warstwę cementu poddaną perforacji, ale dodatkowo zastosowano tu rodzaj szczelinowania hydraulicznego powodujący powstanie sieci wysoko przewodzących szczelin w warstwie skalnej wypełnionych proppantami.

Ważnym elementem tej metody jest płyn wykorzystywany jako nośnik do przenoszenia proppantów podczas ich zatłaczania. Przedostaje się on do warstwy złożowej lub poprzez filtr do kolumny rur produkcyjnych i jest wypompowywany na powierzchnię. Obsypka filtra powoduje powstanie dodatkowego filtra zbudowanego z jednorodnych, kulistych ziaren o bardzo dużej przewodności około 120 Darcy przez co jednocześnie ochrania on filtr i instalację. Metoda ta nie jest niestety idealna i ma kilka minusów, mogących wpływać na wydajność odwiertu. Wykorzystywany do transportu proppantów podczas zatłaczania płyn, może powodować zniszczenia w naturalnej przepuszczalności skał złożowych. Operacja ta powoduje również ograniczenie przestrzeni operacyjnej w odwiercie co w razie



Rys. 2. Obsypka filtra (Gravel Packing) – Źródło: Detlef Mader, 1989

konieczności rekonstrukcji odwiertu wymusza usunięcie zarówno proppantów jak i filtra. Metoda ta jest stosunkowo droga i czasochłonna w porównaniu z innymi dostępnymi metodami. Dlaczego więc jest stosowana? Z jednego ważnego powodu, gdyż jest to najbardziej efektywna metoda powstrzymywania migracji ziaren piasku z formacji do odwiertu.

Projektowanie obsypki filtra (Gravel Packing)?

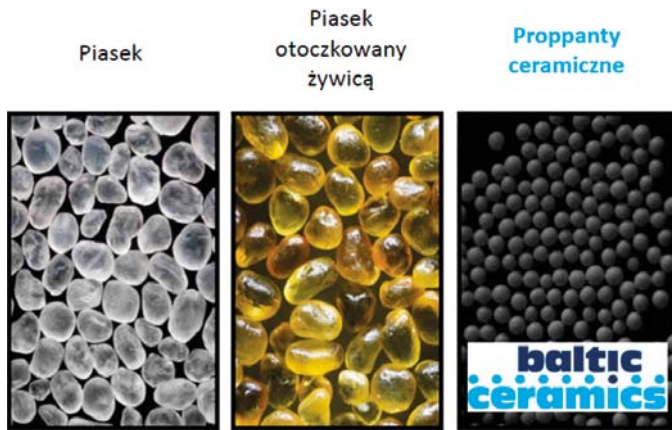
Wykonanie obsypki filtra jak już wspomnieliśmy jest złożonym procesem wymagającym dokładnego przebadania skał złożowych i doboru odpowiednich urządzeń i materiałów. Każdorazowo przed wykonaniem takiego zabiegu jest on szczegółowo projektowany. Proces projektowania składa się z następujących etapów: analizy rdzeni wiertniczych i odwiertu, doboru odpowiednich proppantów, analizy i wyboru najlepszej metody wykończenia odwiertu (bez orurowania czy z orurowaniem i perforacją), wyboru odpowiedniej metody i urządzenia do wykonania zbiegu, doboru odpowiedniej techniki umiejscowienia proppantów, wyboru odpowiedniego płynu transportującego proppanty

Analiza rdzeni wiertniczych polega na przeprowadzeniu szeregu badań laboratoryjnych mających określić podstawowe właściwości fizyczne danej skały. Na rdzeniach wykonuje się wszystkie standardowe badania, jednak jedno z nich dla przeprowadzenia powyższej metody jest najbardziej istotne, jest to analiza granulometryczna.

Proppanty i ich umieszczenie w odwiercie mają kluczowe znaczenie do zapewnienia długotrwałej produktywności. Proppanty podczas tego zabiegu muszą być ciasno upakowane w od-

wiercie i umieszczone w nim z jak najmniejszymi uszkodzeniami dla formacji złożowej. Spełnienie tych wymagań zależy od dobrego dopasowania kilku kluczowych czynników: proppantów, płynu nośnego oraz techniki umieszczania ich w odwiercie. Zależy ona również od skrupulatnego czyszczenia podczas zatłaczania tak aby zapobiec zanieczyszczeniu małymi okruchami proppantów, co może w znaczący sposób zmniejszyć przewodność całego filtra.

Aby zwiększyć prawdopodobieństwo udanego zabiegu należy dołożyć wszelkich starań aby spadek ciśnienia w perforacjach orurowania był jak najmniejszy a użyte proppanty jak największe. Należy jednak pamiętać, że proppanty mają działać jak filtr dlatego ziarna tego filtra muszą być również wystarczająco małe by powstrzymać ziarna migrujące z formacji. Sprowadza się to do punktu, w którym proppanty są uzależnione od wielkości ziaren piasku w formacji. Uziarnienie formacji uzyskujemy z analizy granulometrycznej. Istnieje wiele metod przeliczania wyników analizy granulometrycznej rdzenia i dopasowywania do nich odpowiednią wielkość proppantów, które trzeba zastosować w filtrze. Jedną z najbardziej rozpowszechnionych metod jest metoda opracowana przez R.J. Saucier według, której zalecane jest aby mediana proppantów był do sześciu razy większa od mediany ziaren formacji ale nie większa. Średnia wielkość ziaren nie jest jedyną determinującą cechą doboru odpowiednich proppantów. Najlepiej nadają się do tego jak najbardziej okrągłe i jednorodne proppanty. Aby to określić przeprowadza się szereg badań laboratoryjnych. Następnie inżynierzy naftowi muszą zdecydować czy należy warstwę złożo-



Rys. 3. Rodzaje proppantów. Źródło: Baltic Ceramics

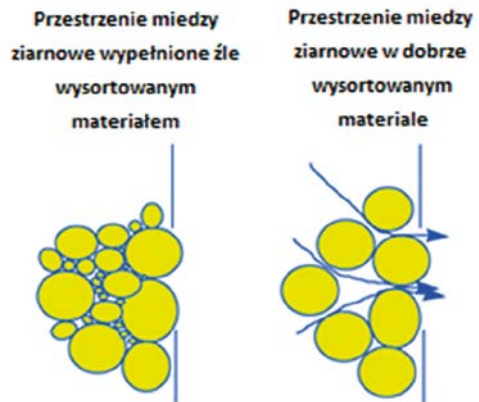
wą zarurować czy pozostawić otwartą bez zarurowania. Obie opcje mają zalety i wady jeśli pozostawi się odwiert nie orurowany, wtedy nie stosuje się perforacji a spadek ciśnienia w filtrze jest minimalny, jednak proces ten jest czasochłonny i kosztowny. Przed jego realizacją należy oczyścić cały odwiert z pozostałości płynu wiertniczego, a następnie uniknąć ścinania ścian odwiertu oraz zapobiec zanieczyszczeniu proppantów. W wypadku zarurowania trudności sprawia poprawne wypełnienie całej przestrzeni w odwiercie, a w szczególności otworów w orurowaniu oraz cementie powstałych podczas perforacji proppantami. W celu przewidzenia takiej sytuacji wykorzystuje się oprogramowanie modelujące cały przebieg zabiegu. Największym niebezpieczeństwem przy tej metodzie jest spadek ciśnienia w otworach/ tunelach perforacyjnych. Ma to kluczowe znaczenie dla produktywności odwiertu podobnie jak ich długość, obszar perforacji, przewodność proppantów, lepkość płynu wydobywanego oraz ciśnienie w złożu. Jeśli podczas symulacji nie można zachować wystarczającego przepływu surowca poprzez perforowane orurowanie okładzinowe i cement wtedy wybiera się metodę bez orurowania (open-hole). Następnie dopasowuje się odpowiednie urządzenie, którym przeprowadzi się niniejszą operację. Dobór odpowiedniego urządzenia zależy od szeregu czynników m.in. wielkości i gęstości upakowania proppantów, gęstości perforacji orurowania wyboru pomiędzy zastosowaniem orurowania czy też nie, oraz szeregu innych czynników. Ostatnim etapem jest dobranie odpowiedniej substancji przenoszącej proppanty. Na dobór ten w głównej mierze ma wpływ lepkość substancji jaka jest potrzebna do transportu proppantów. Zależy ona od gęstości proppantów, warunków geologicznych złoża oraz rodzaju używanego urządzenia. Od doboru odpowiedniego płynu zależy gęstość upakowania proppantów oraz ewentualne zniszczenia przewodności warstwy złożowej lub tuneli perforacyjnych.

Dlaczego Proppanty ceramiczne?

W poprzednich rozdziałach artykułu wspomniano o kluczowym znaczeniu wpływu jaki na przebieg i efekt końcowy ma odpowiedni dobór proppantów. Szczególnie ważnymi cechami proppantów jest kulistość, sferyczność oraz jednorodność uziarnienia.

Proppanty ceramiczne w porównaniu do innych proppantów zapewniają najlepsze wskaźniki powyższych cech. Powyższe zdjęcie najlepiej demonstruje różnice w kulistości i sferyczności wśród proppantów. Jak widzimy na zdjęciu proppanty ceramiczne mają najwyższą kulistość i sferyczność do tego fakt, że powstają podczas kontrolowanego procesu daje możliwość powstania najbardziej jednorodnego uziarnienia. Jak duże ma to znaczenie najlepiej prezentuje rysunek 4.

Przy źle wysortowanych proppantach przestrzenie pomiędzy proppantami wypełniają po-

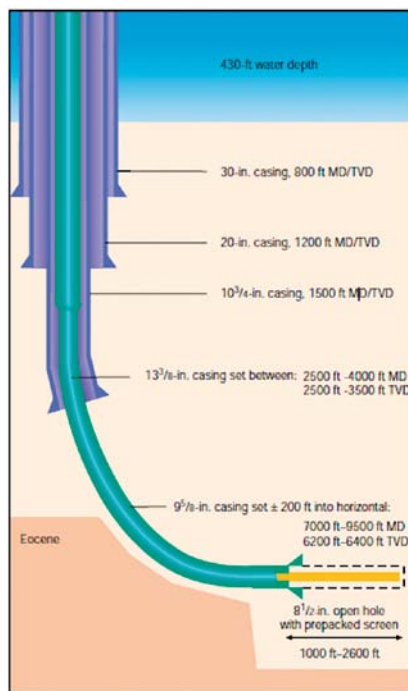


Rys. 4. Porównanie słabo wysortowanych proppantów z dobrze wysortowanymi proppantami. Źródło: <http://petrowiki.org>

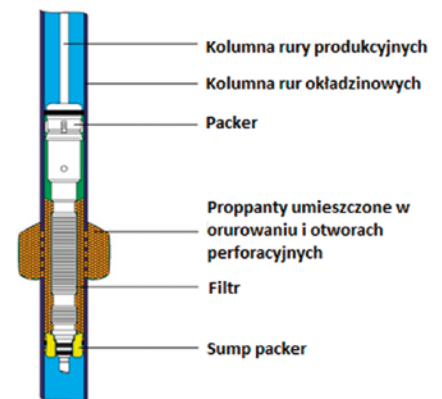
mniej ziarna znacznie ograniczając przepływ różnego rodzaju mediów. W wypadku proppantów ceramicznych połączenie doskonałej kulistości i sferyczności powyżej 0,9 z jednorodnością uziarnienia daje najlepszą kombinację i najwyższą przewodność. Dodatkowymi atutami zastosowania tych proppantów jest ich wysoka wytrzymałość na ściskanie oraz niewielka gęstość nasypowa. Ostatni z tych parametrów pozwala na użycie mniej lepkiego płynu transportującego co ma bezpośredni wpływ na cenę tego płynu, jak również jego wpływ na ściany odwiertu i ich naturalną przewodność. Z płynów o mniejszej lepkości łatwiej oczyszcza się odwiert.

Zapotrzebowanie na proppanty

W zależności od użytej techniki tworzenia obsypki filtra zmienia się metoda obliczenia zapotrzebowania na proppanty oraz ilość potrzebnych proppantów.



Rys. 6. Schemat budowy odwiertu. Źródło: Detlef Mader, 1989



Rys. 5. Schemat urządzenia do Gravel Packing. Źródło: www.rigzone.com

Jak wspomniano już wcześniej zarówno w odwiertach poziomych jak i pionowych proppanty muszą jak najściślej wypełnić przestrzeń pomiędzy orurowaniem a filtrem lub filtrem a ścianą odwiertu jak również, w zależności od metody otwory perforacyjne i szczeliny powstałe podczas zastosowania szczelinowania hydrau-

licznego. Aby w pełni dokonać takich obliczeń niezbędna jest również wiedza o średnicach zastosowanego orurowania okładzinowego, średnicy filtra oraz długości odcinka odwiertu przeznaczonego do wypełnienia proppantami. Gdy obliczy się już przestrzeń w odwiercie przeznaczoną do wypełnienia proppantami mnoży się ją przez gęstość nasypową proppantów i uzyskuje się ilość jaka jest potrzebna. W zależności od średnicy odwiertu i filtra, zastosowanej obryski filtra i długości odcinka, ilości są zmienne.

Podsumowanie

Biorąc pod uwagę fakty zawarte w niniejszym artykule oraz dostępne dane można z całą pewnością stwierdzić, iż najbardziej popularną metodą walki z migracją ziaren piasku jest stosowanie obryski filtra (Gravel Packing). Jest to

najczęściej używana metoda, pomimo faktu iż nie należy ona do najtańszych i najprostszych w przeprowadzeniu. Jednym z najważniejszych czynników wpływającym na powodzenie tej metody jest odpowiednie dobranie proppantów pod względem uziarnienia, kulistości, sferyczności oraz wytrzymałości. Faktem jest iż najlepsze współczynniki wszystkich powyższych parametrów wykazują właśnie proppanty ceramiczne. Zastosowanie proppantów ceramicznych co prawda droższych w zakupie niż proppanty piaskowe obtoczone żywicami, zwraca się jednak w długości eksploatacji odwiertu oraz przewodności filtra. Jeden z kluczowych parametrów czyli jednorodność uziarnienia dla proppantów ceramicznych jest dużo lepszy niż w przypadku innych proppantów. Wszystkie te cechy sprawiają iż proppanty ceramiczne są najlepszym wyborem dla obryspek filtrowych.

Literatura

1. Detlef Mader, 1989, *Hydraulic proppant fracturing and gravel packing*, Petroleum Science, 26, Elsevier.
2. Jon Carlson I in., 1992, *Sand Control: Why and HOW?, Completion/Stimulation*
3. Mariano Sanchez, Ray Tibbles, 2007, *Frac Packing: Fracturing for sand control*, Middle East & Asia Reservoir Review number 8
4. www.premiersilica.com
5. Tayvis Dunnahoe, 2008, *Holistic approach improves sand management*, www.epmag.com

Marcin Zimny
BALTIC CERAMICS S.A.

Dariusz Janus
CEO, IndigoTech Minerals SA



Instytut na krośnieńskim rynku



W niedzielę 28 lipca, już po raz szósty, odbyła się w Krośnie impreza Świet(l)ne Miasto. Po raz kolejny jej współorganizatorem był Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy.

Zorganizowane na krośnieńskim rynku stanowisko Instytutu cieszyło się ogromnym zainteresowaniem zarówno najmłodszych, jak i tych starszych odwiedzających.

Obecni na stoisku pracownicy Instytutu, odpowiadali na każde z zadawanych pytań, dopasowując poziom wiedzy merytorycznej do wieku odwiedzających. Wiele emocji budziły rdzenie wiertnicze, jak i świeżo wydobyta i nie poddana jeszcze obróbce, ropa naftowa, którą można było obejrzeć i powąchać.

Na krośnieńskim rynku Instytut zorganizował dwa stanowiska, w tym jedno multimedialne. Odwiedzający mieli zatem okazję zobaczyć interaktywną prezentację z zakresu poszukiwa-

nia, wydobycia i przeróbki ropy naftowej i gazu ziemnego.

Oprócz Instytutu Nafty i Gazu – Państwowego Instytutu Badawczego, swoje stoiska prezentowały m.in. Akademia Górniczo-Hutnicza, Exalo Drilling, Muzeum Przemysłu Naftowego w Bóbrce czy krośnieńska „Naftówka”.

Świet(l)ne Miasto jest wydarzeniem nawiązującym do zapalenia przez Ignacego Łukasiewicza naftowej, w lipcu 1831 roku.

Celem imprezy jest przybliżenie postaci Ignacego Łukasiewicza i jego roli w rozwoju krajowego i światowego przemysłu naftowego.

Instytut Nafty i Gazu –
Państwowy Instytut Badawczy



Fot. arch. INiG-PIB